

Analyse langfristiger Ausbauszenarien des deutschen und europäischen Stromübertragungsnetzes und deren Rolle im zukünftigen Energiesystem

Modellkopplung und Szenario-Entwicklung des europäischen Kraftwerksparks

Karl-Kiên Cao

STRise Doktorandenseminar
Stuttgart, 31.01.2017



Wissen für Morgen



Agenda

Motivation

Methodik

- Schematische Modellkopplung
- Szenarien
- Energiesystemmodell → Übertragungsnetzmodell
- Bestimmung von Verteilfaktoren

Definition des Kraftwerksparks im Szenario

- Normative Bestimmung von Stromerzeugungskapazitäten
- Erste Ergebnisse

Ausblick



Motivation

Netzausbauszenarien



Wissen für Morgen



Kleine „Geschichte“ der Methode zur Erstellung von Energieszenarien

Langfristszenarien
zur Nutzung von
EE



100% EE mittels
„unterjährlicher
Validierung“

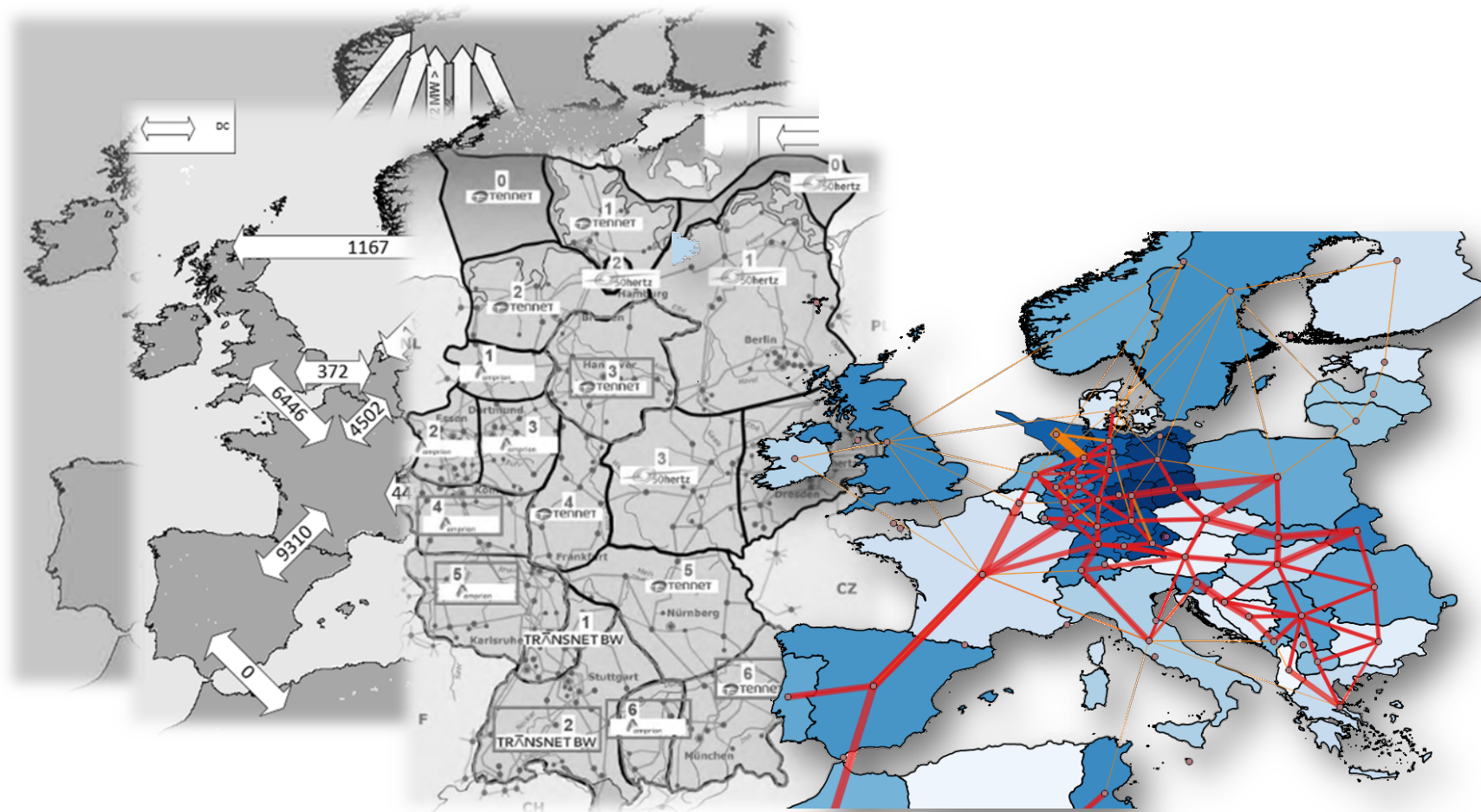


Die Rolle der
Flexibilität

Methodischer Schwerpunkt	Vollständiges und konsistentes Energiemengengerüst	Räumliche aufgelöste EE-Potentialanalysen und Optimierungsmodell	Berücksichtigung von Sektorkopplung, Speichern und Netzen
Räumliche Auflösung	Deutschland	Europäische Staaten	Europäische und deutsche Regionen
Zeitliche Auflösung	Jährlich	Stündlich	Stündlich
Beispielprojekt	„Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland“, 2004	„Möglichkeiten und Grenzen der Integration verschiedener regenerativer Energiequellen zu einer 100% regenerativen Stromversorgung der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2050“, 2010	„Möglichkeiten und Grenzen des Lastausgleichs durch Energiespeicher, verschiebbare Lasten und stromgeführte KWK bei hohem Anteil fluktuierender erneuerbarer Stromerzeugung“, 2014



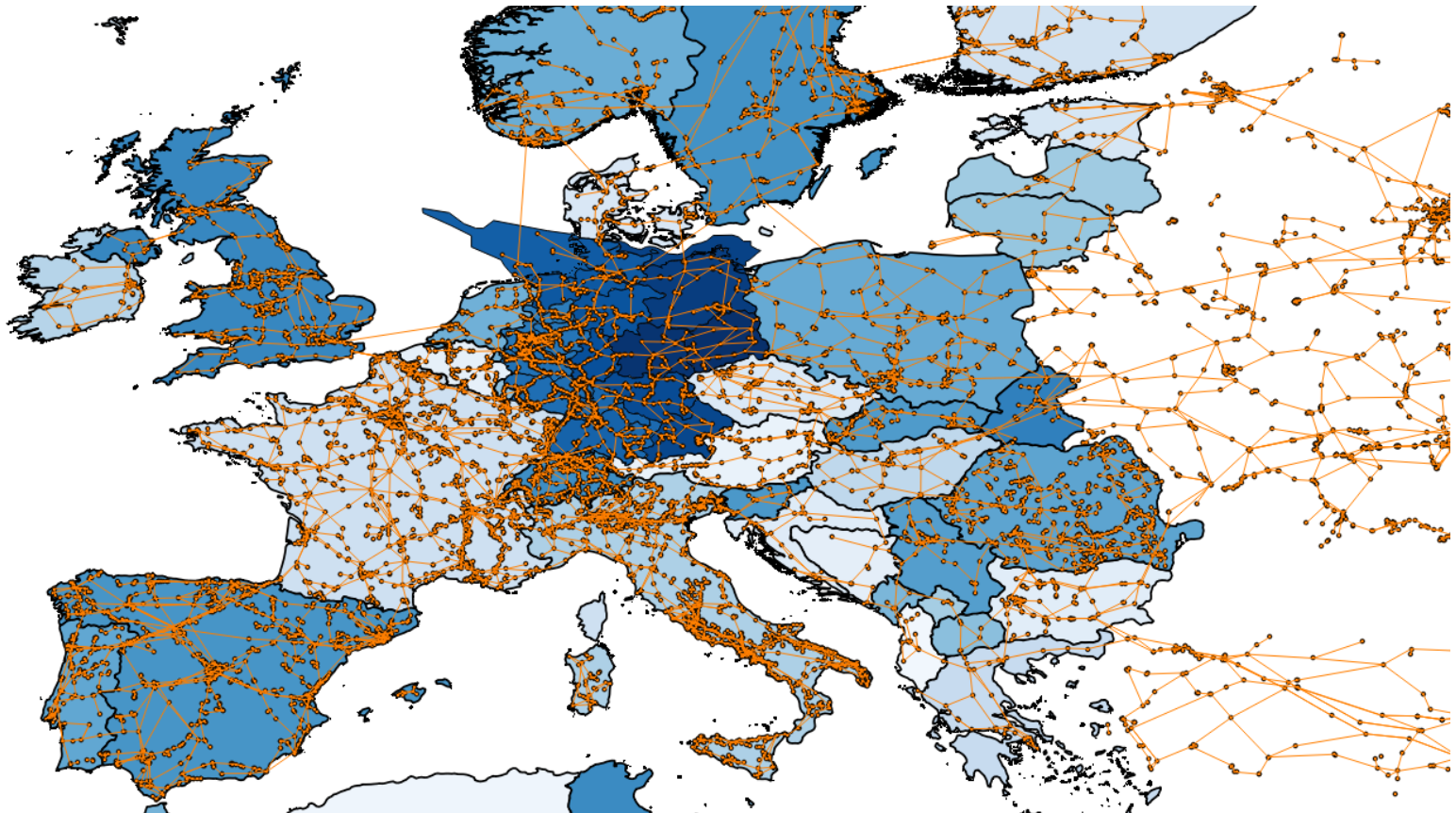
Beispiele der bisherigen „Netzmodellierung“ in Energieszenarien



Quellen:

- Luca de Tena, Diego (2014) Large scale renewable power integration with electric vehicles : long term analysis for Germany with a renewable based power supply. Dissertation, Universität Stuttgart.
- Scholz, Yvonne und Gils, Hans Christian und Pregger, Thomas und Heide, Dominik und Cebulla, Felix und Cao, Karl-Kiên und Hess, Denis und Borggreffe, Frieder (2014) Möglichkeiten und Grenzen des Lastausgleichs durch Energiespeicher, verschiebbare Lasten und stromgeführte KWK bei hohem Anteil fluktuierender erneuerbarer Stromerzeugung. Projektbericht
- Gils, Hans Christian und Cao, Karl-Kiên und Borggreffe, Frieder und Bothor, Sebastian (2016) Szenarien der Versorgungssicherheit in Deutschland und Süddeutschland. Projektbericht

Visualisierung eines Modells des europäischen Übertragungsnetzes



Mit Änderungen übernommen von: Wiegmans, B. (2016). GridKit: European and North-American extracts [Data set]. Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.47317>



Forschungsfragen

Wieviel Netzausbau ist nötig?



Wie können robuste Aussagen zum
Netzausbaubedarf von Energieszenarien
ermittelt werden?



Welchen Einfluss hat die Netzmodellierung
auf die Energiesystemmodellierung?



Methodik



Knowledge for Tomorrow



Typische Charakteristika Energiesystemmodell

Modelltyp

- Optimierung (Systemkosten)

Räumliche Auflösung

- Aggregiert (Regionen)

Zeitliche Auflösung

- Zeitreihe
- z.B. 8760 h

Technologie Detaillierung

- Wirkungsgrade, Kosten, techn. Restriktionen



Typische Charakteristika Übertragungsnetzmodell

Modelltyp

- Simulation (Lastfluss)

Räumliche Auflösung

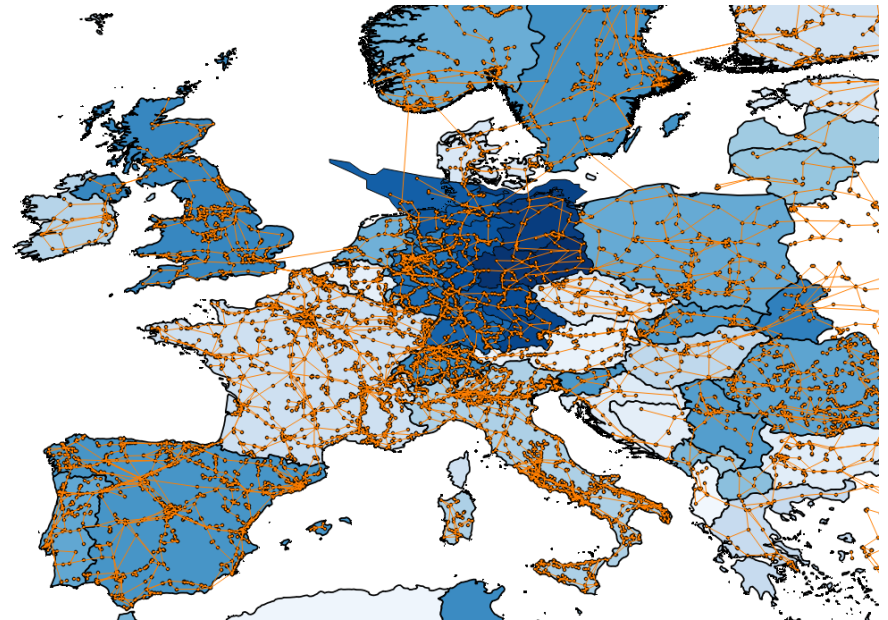
- Detailliert (Knotenscharf)

Zeitliche Auflösung

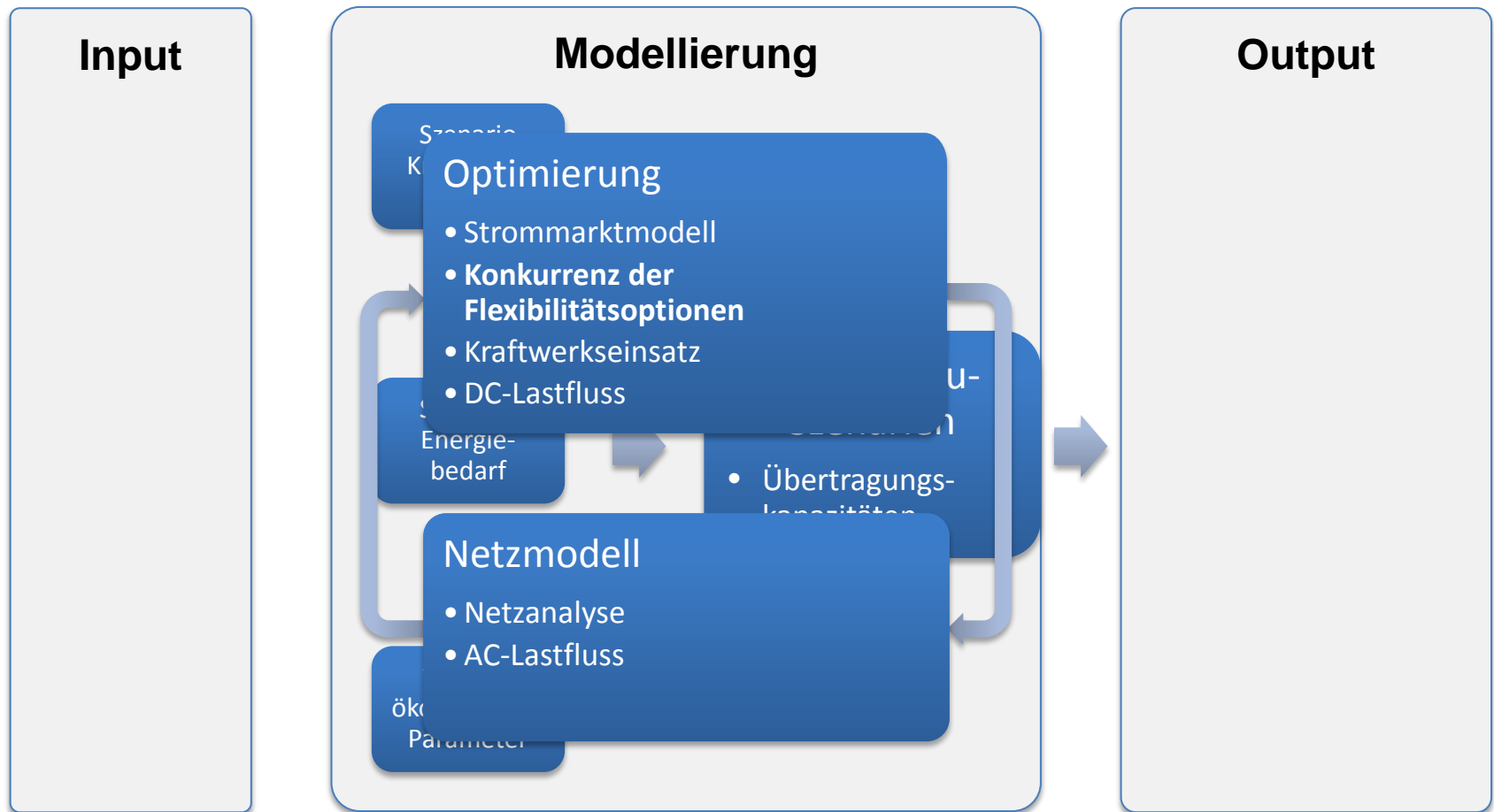
- Snapshot

Technologie Detaillierung

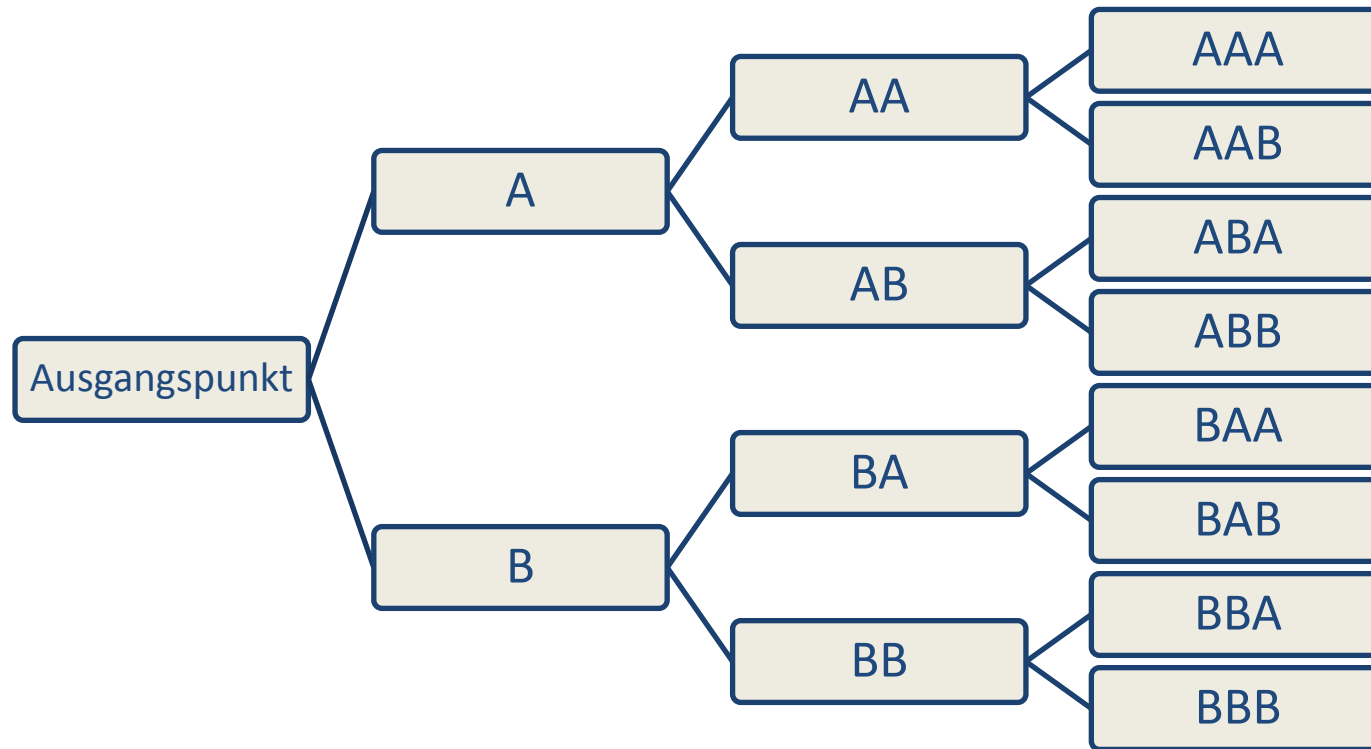
- Einzelne Netzkomponenten



Methodik zur Bestimmung von Netzausbauszenarien

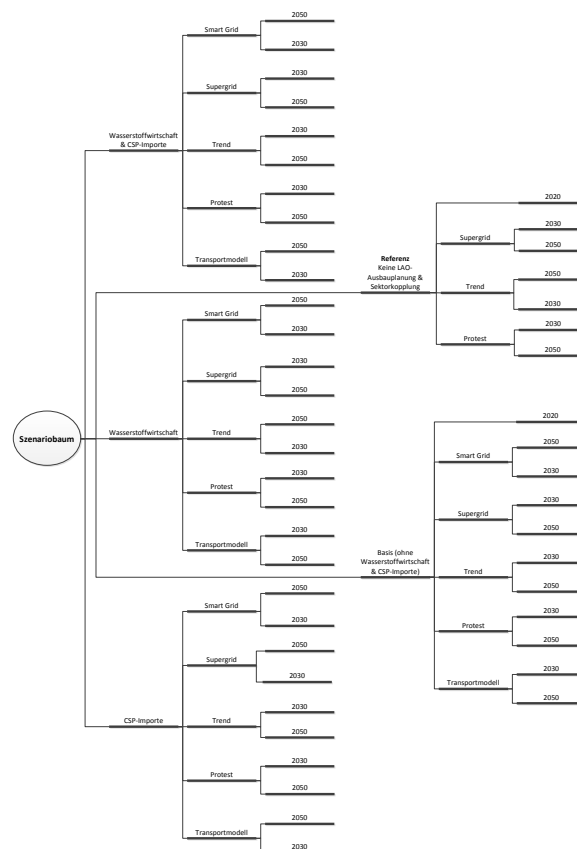
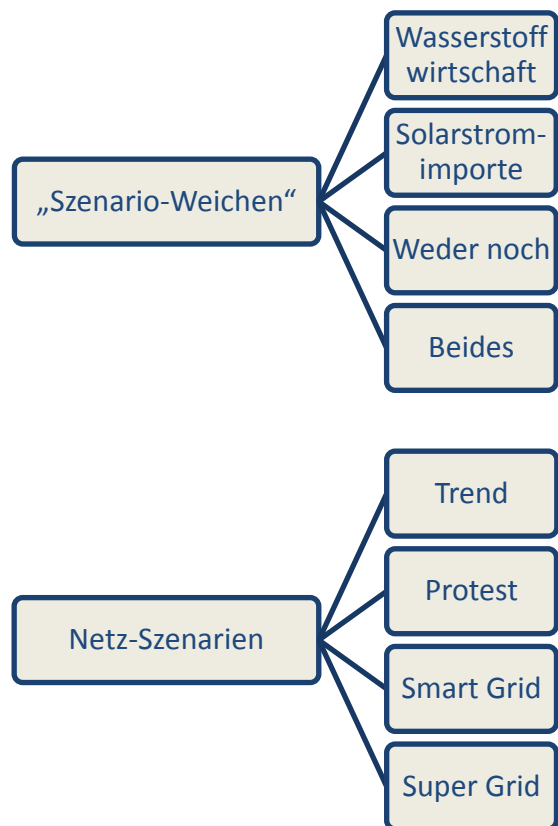


Input - Szenariovarianten



Szenariovarianten in INTEEVER (I)

Grundlegende Unterscheidung



Szenariovarianten in INTEEVER (II)

Unterscheidung der Netz-Szenarien

Szenario- variante	Umsetzung TYNDP	Netzausbauplanung 2050			Sonstiges
		Drehstromübert ragungsnetz	HVDC Übertragung	Dominierende Technologie	
Trend	vollständig (2030)	Netzverstärkung		Freileitungen	
Supergrid	vollständig (2030)	Netzverstärkun g	Netzerweiterun g	Freileitungen	
Smart- Grid	teilweise (2030, 2050)	Netzverstärkung		Kabel	Ausbauplanung PV, Wind Onshore
Protest	teilweise (2030), vollständig (2050)	Netzverstärkung + Limitierung max. GTC		Kabel	kein Großspeicherausbau
Transport modell	vollständig (2030)	Ausbauplanung Grenzkuppelstellen, keine Regionalisierung innerhalb Deutschlands		Freileitungen	



Kopplung: Energiesystemmodell- Übertragungsnetzmodell



Wissen für Morgen



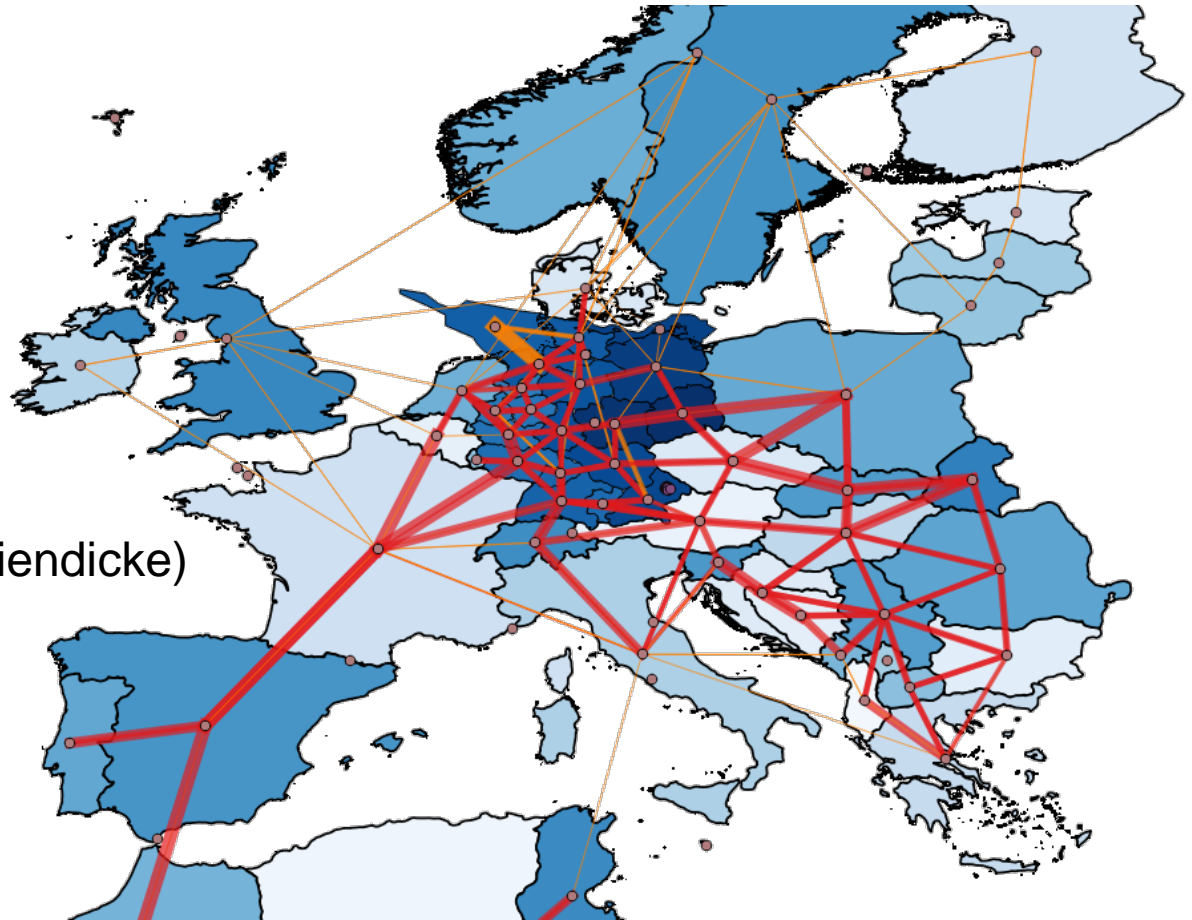
Erfolgreichster „Soft-Link“ Übertragungsnetzmodell → Energiesystemmodell

Parametrierung

- 1 exemplarischer Tag
- TYNDP2016
- PTDF2014 (IFK)
- Nur 1 „Flex-Option“

Ergebnisse:

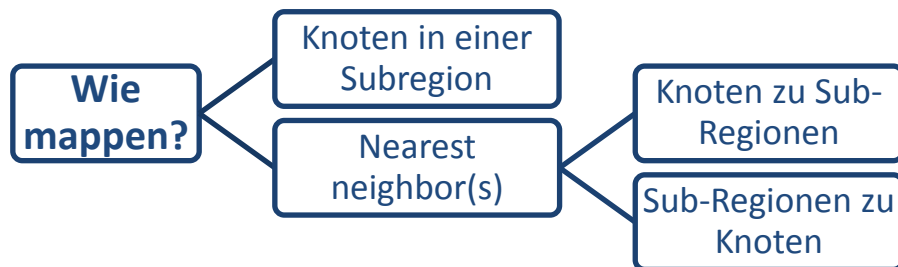
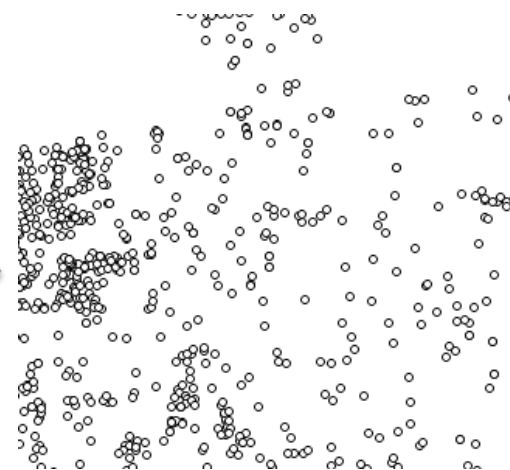
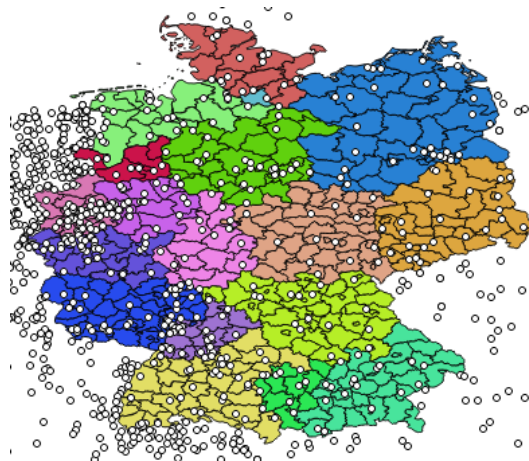
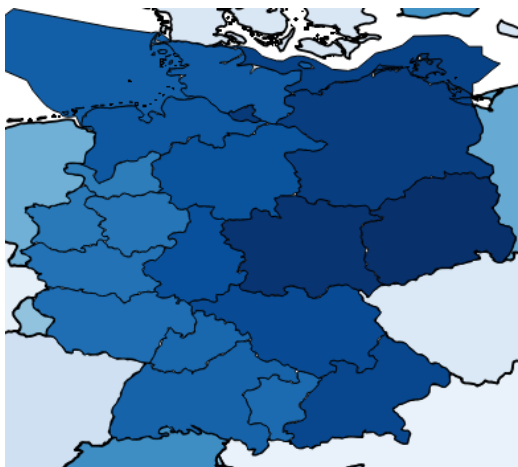
- Peak-Leistungsfluss (Liniendicke)
- Drehstromnetz 
- HVDC 



Räumliches Mapping (I)

Energiesystemmodell

Übertragungsnetzmodell



→ Fallunterscheidung nötig

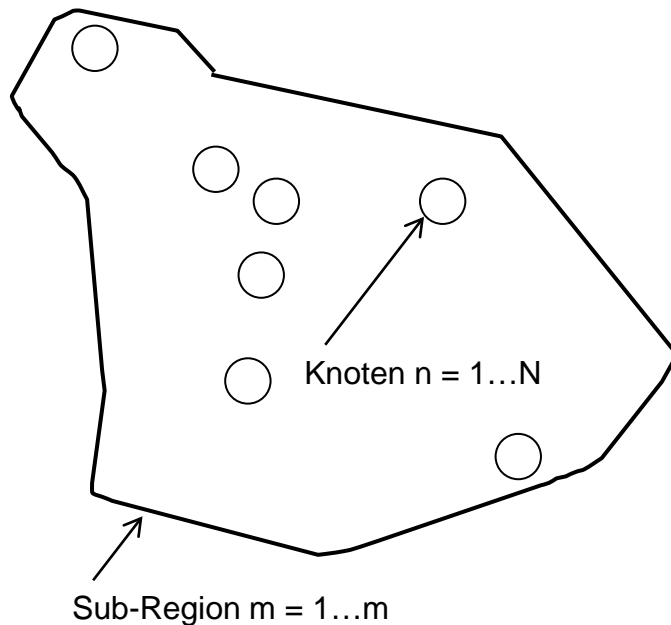


Räumliches Mapping (II): Fallunterscheidung

Sub-Region mit vielen Knoten

Gleichmäßige Verteilung:

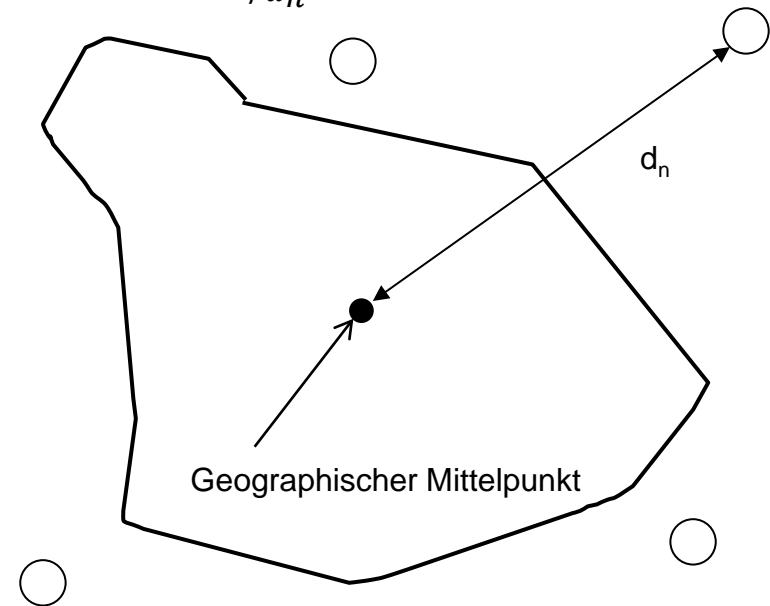
- $P_n = P_m \cdot \frac{1}{N}, \forall n \in N$



Sub-Region ohne Knoten

3-Nearest-Neighbors-Verteilung¹

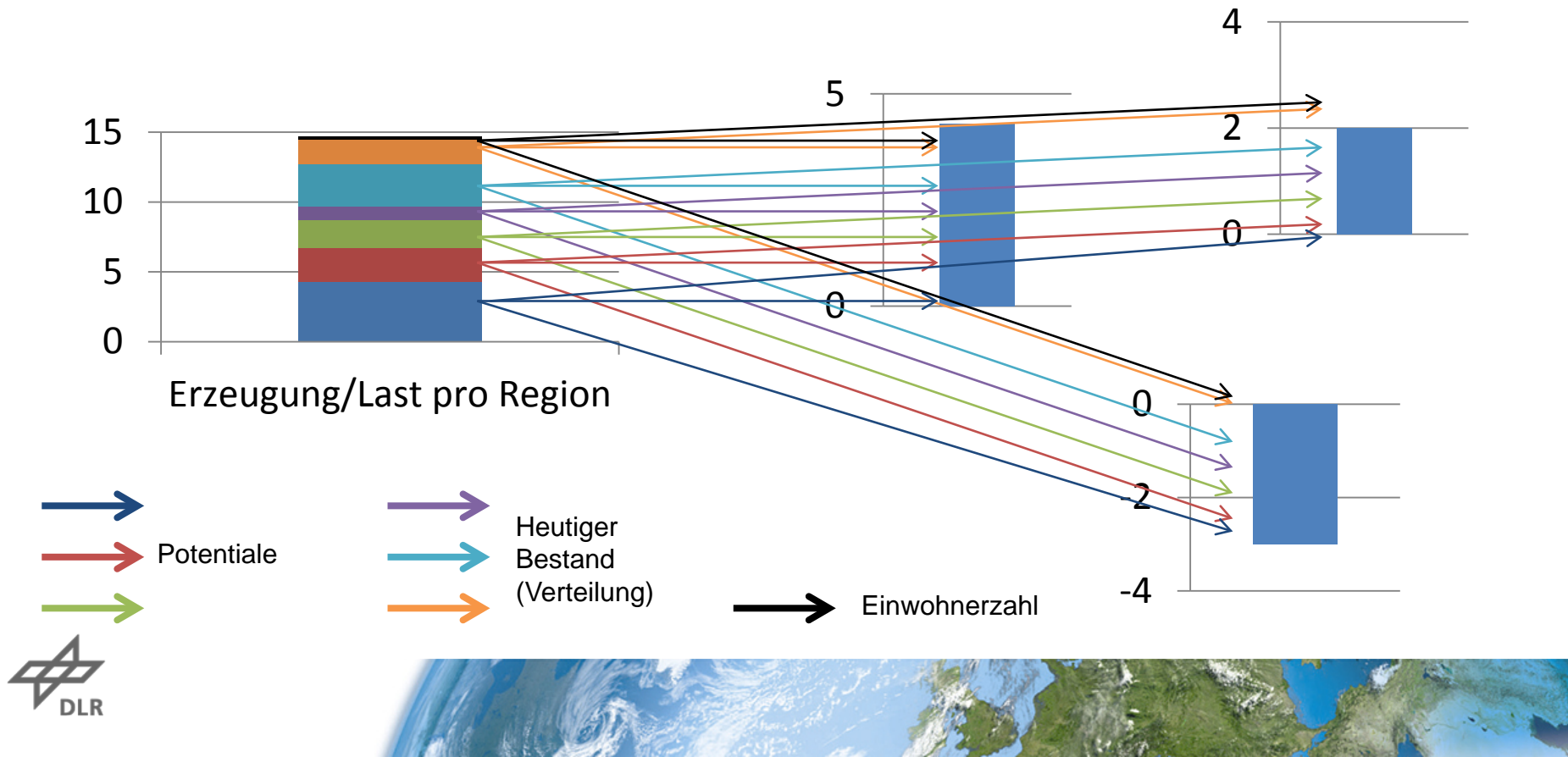
- $P_n = P_m \cdot \frac{1/d_n}{\sum_1^{N_1} 1/d_n}, \forall n \in N$



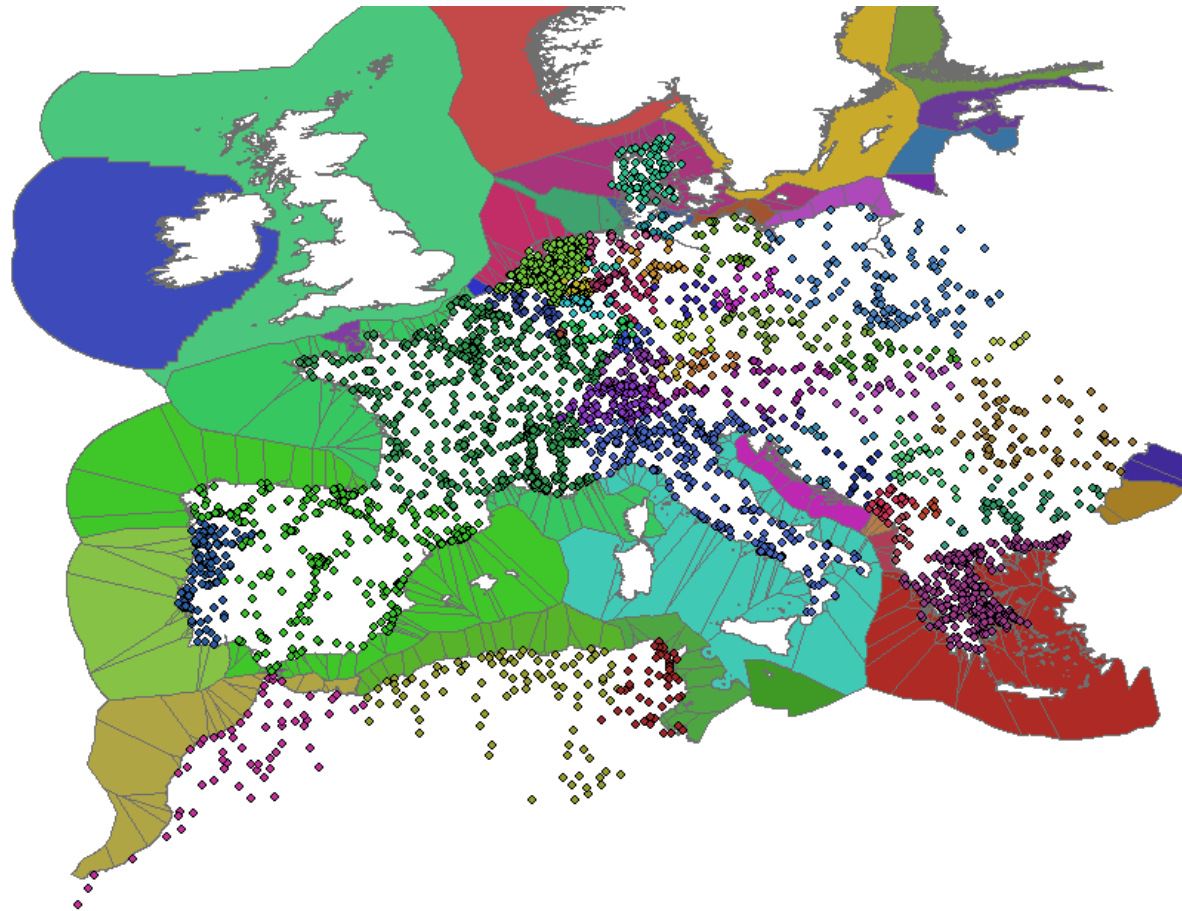
Räumliches Mapping (III)

Energiesystemmodell

Übertragungsnetzmodell



Spezialfall: Offshore



Definition des Kraftwerksparks im Szenario

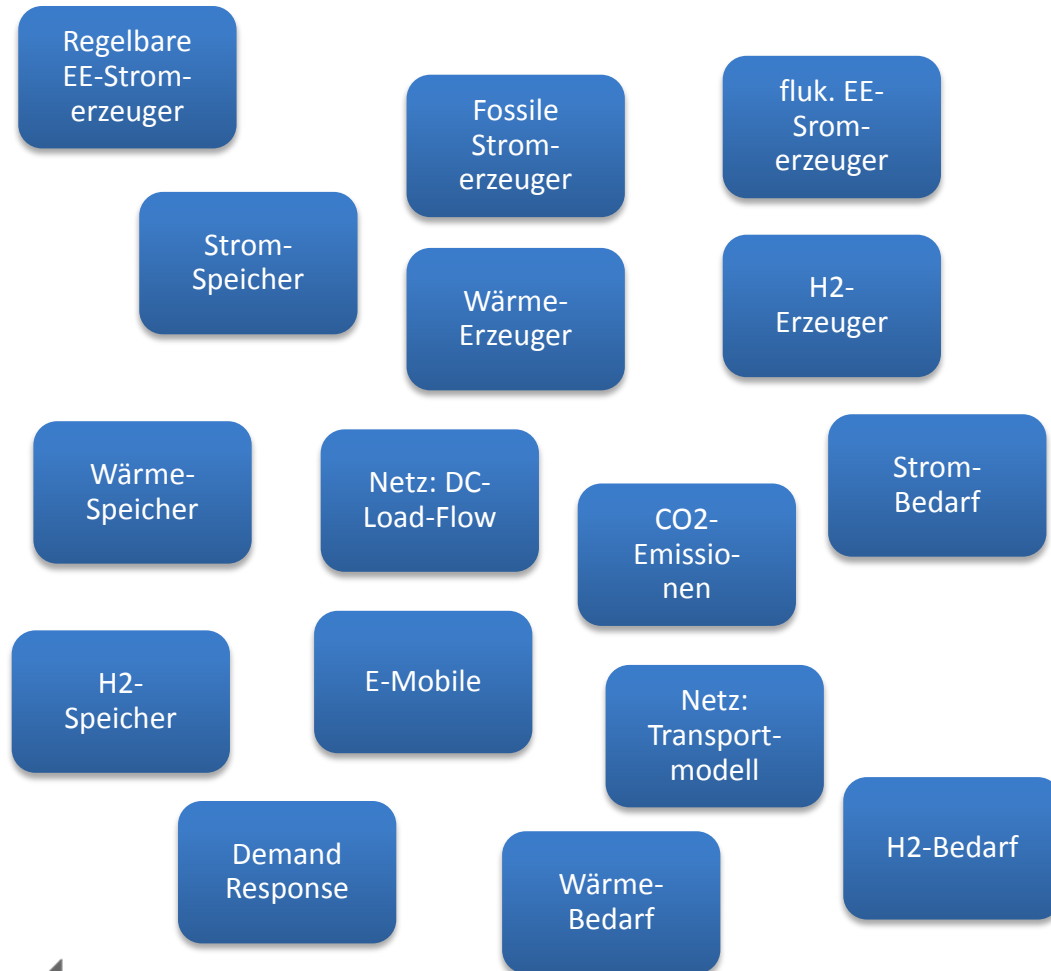
mit REMix



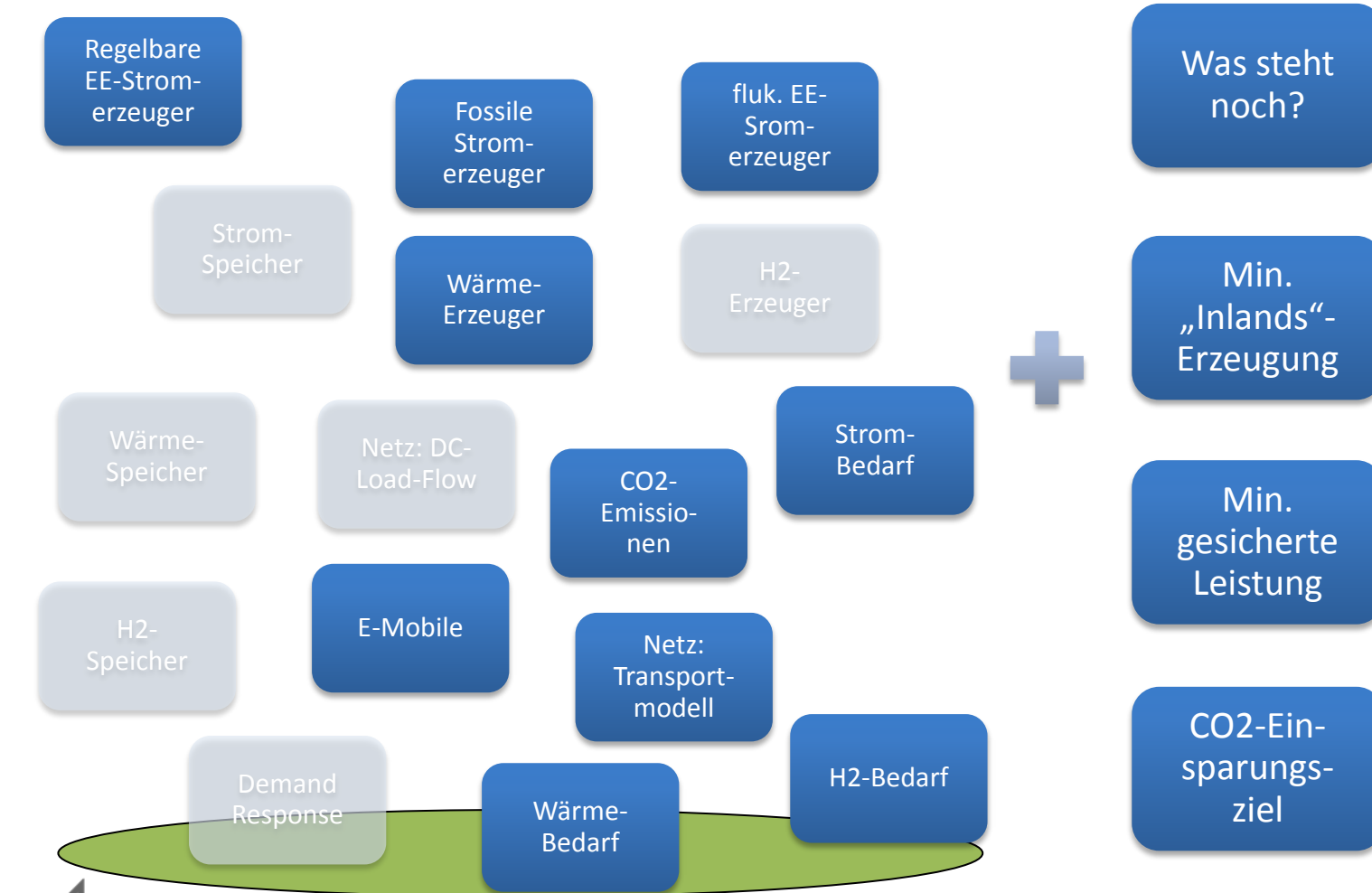
Wissen für Morgen



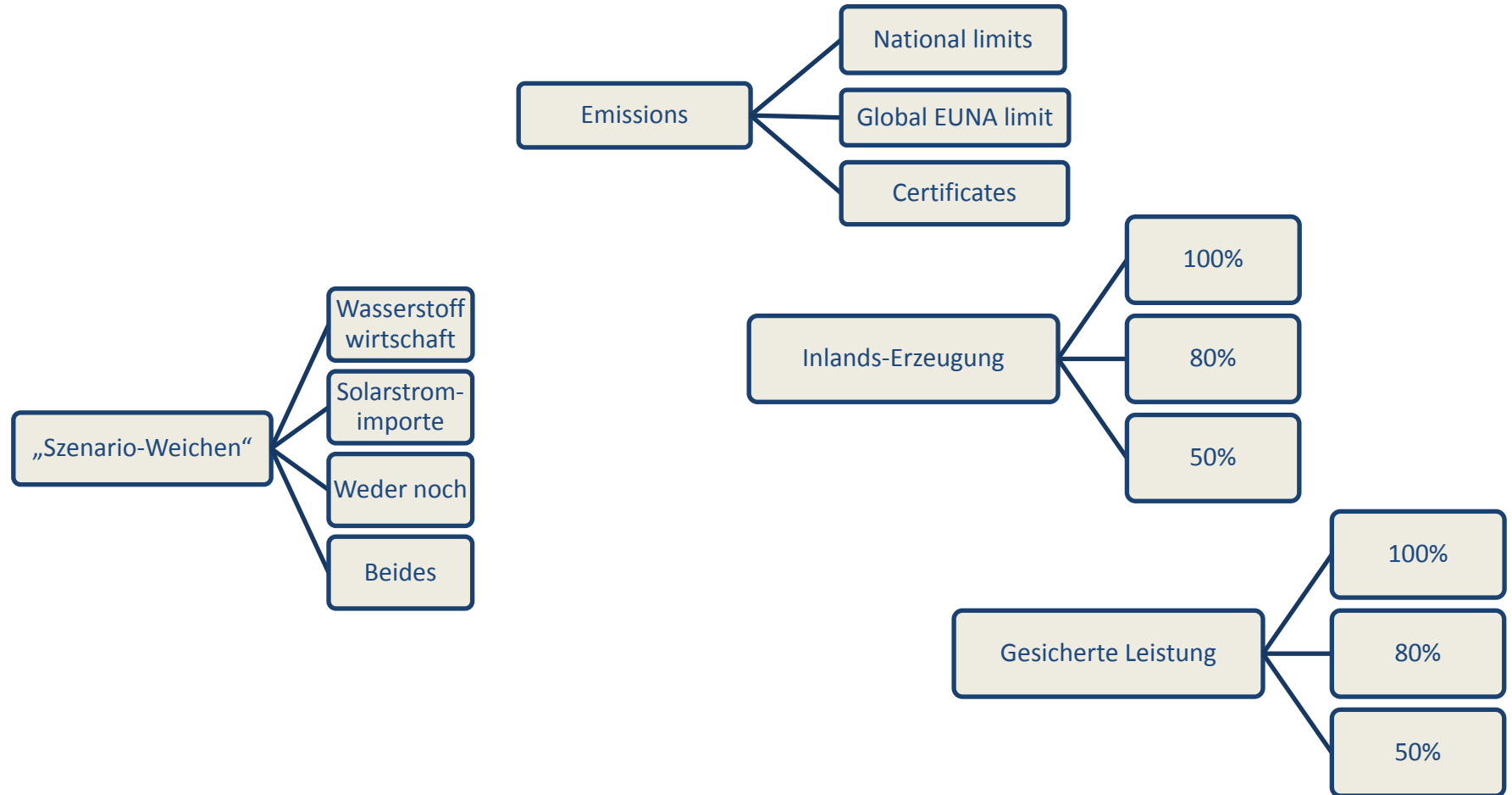
Normative Bestimmung von Stromerzeugungskapazitäten für 2050 (I)



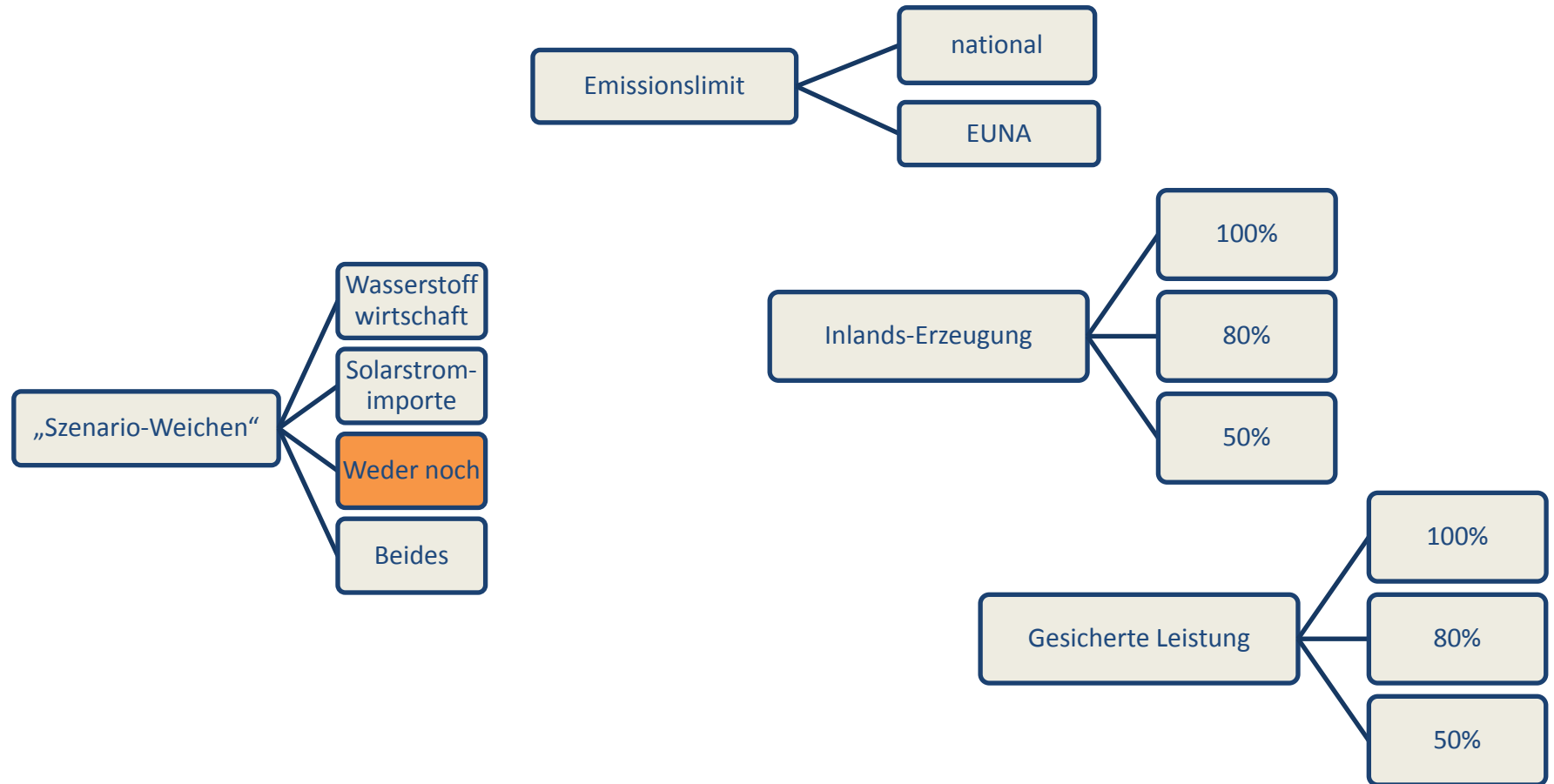
Normative Bestimmung von Stromerzeugungskapazitäten für 2050 (I)



Normative Bestimmung von Stromerzeugungskapazitäten (II)



Normative Bestimmung von Stromerzeugungskapazitäten für 2050 (II)



Szenarien-Namen

Name	Status (Rechenzeit)	Netz	Inlandserzeugung & gesicherte Leistung	CO2-Limit
GridFix	Optimal (2d, 12:40)	TYNDP2016	$\geq 0\%$	National
GridOpt	Optimal (1d, 13:50)	TYNDP2016+	$\geq 0\%$	National
DG50-FC50	Not proven optimal	TYNDP2016+	$\geq 50\%$	National
DG80-FC80	Barrier limit exceeded	TYNDP2016+	$\geq 80\%$	National
DG100-FC100	Rechnet seit 3d, 17h	TYNDP2016+	$\geq 100\%$	National
globalCO2Cap	Optimal (1d, 3:53)	TYNDP2016+	$\geq 0\%$	Europa, Nordafrika
DG100-FC100_gCO2	Non-optimal	TYNDP2016+	$\geq 100\%$	Europa, Nordafrika
DG50-FC50__gCO2	Optimal (1d, 05:31)	TYNDP2016+	$\geq 50\%$	Europa, Nordafrika
DG80-FC80__gCO2	Not proven optimal	TYNDP2016+	$\geq 80\%$	Europa, Nordafrika



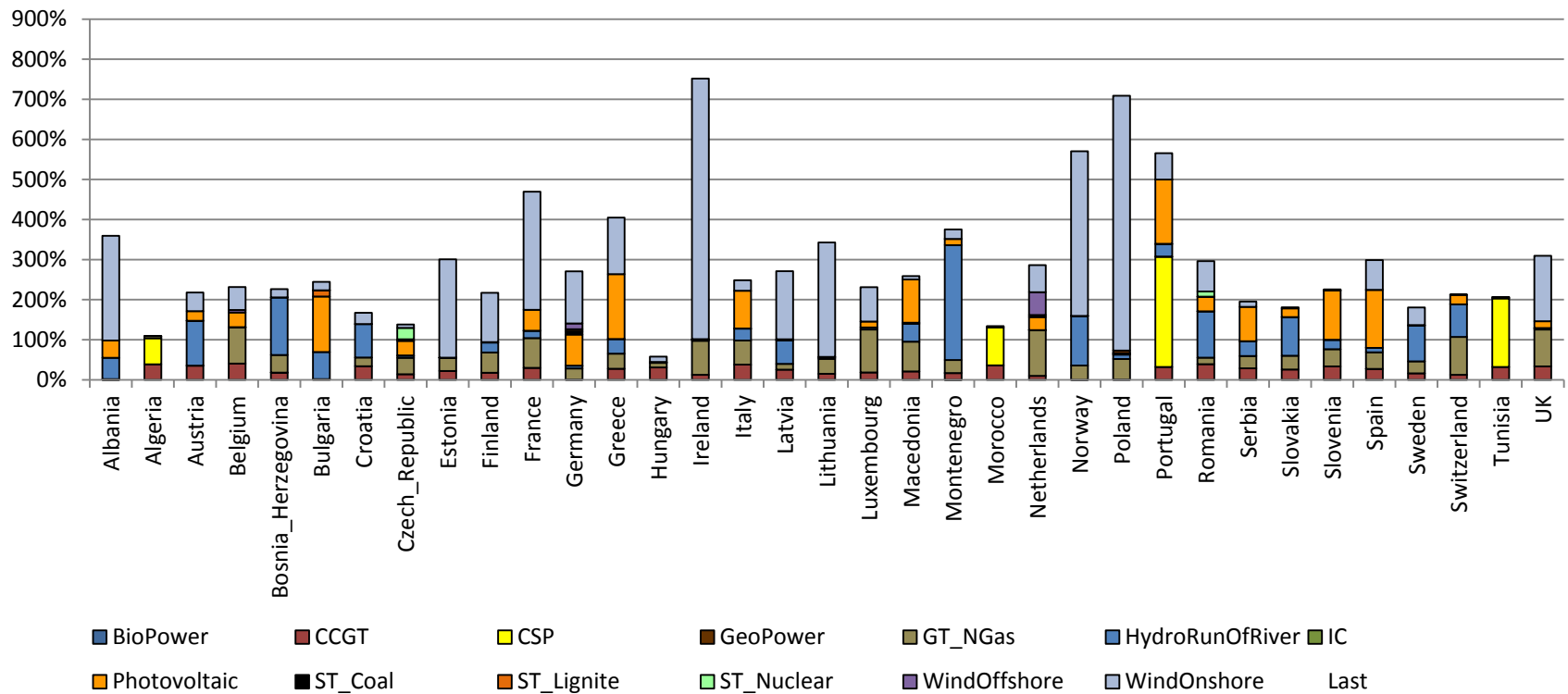
Szenarien-Namen

Name	Status (Rechenzeit)	Netz	Inlandserzeugung & gesicherte Leistung	CO2-Limit
DG0-FC0_CO2Cost	Rechnet	TYNDP2016+	$\geq 0\%$	Nein
DG50-FC50_CO2Cost	Abgebrochen	TYNDP2016+	$\geq 50\%$	Nein
DG80-FC80_CO2Cost	Rechnet	TYNDP2016+	$\geq 80\%$	Nein
DG100-FC100_CO2Cost	Rechnet	TYNDP2016+	$\geq 100\%$	Nein
VariWaT	Rechnet	TYNDP2016+	$\geq 0\%$	Europa, Nordafrika
VariMustRun	Rechnet	TYNDP2016+	$\geq 0\%$	Europa, Nordafrika
VariFC	Rechnet	TYNDP2016+	Variation	Europa, Nordafrika



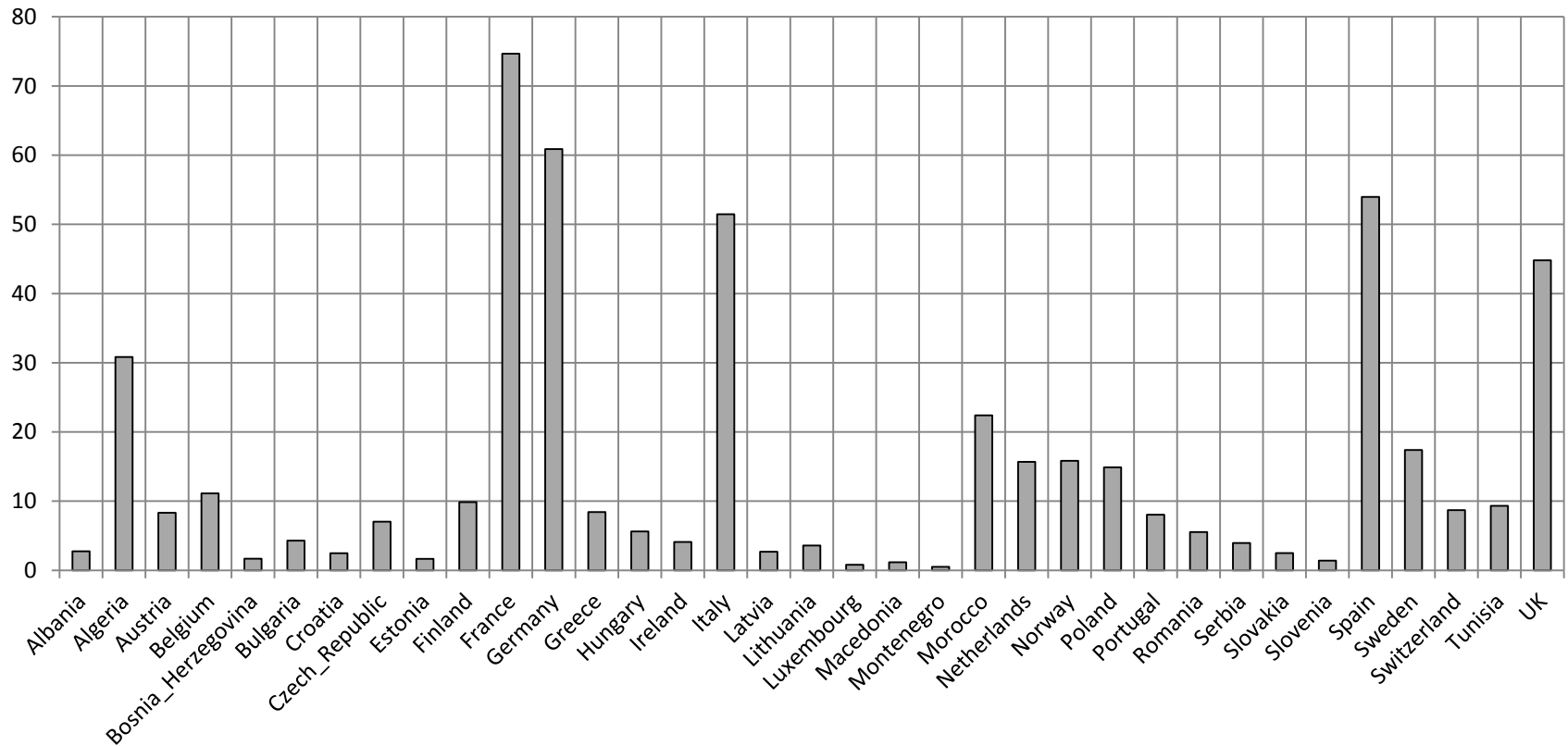
Erste Ergebnisse (I)

Installierte Stromerzeugungsleistung relativ zur Spitzenlast (GridOpt)

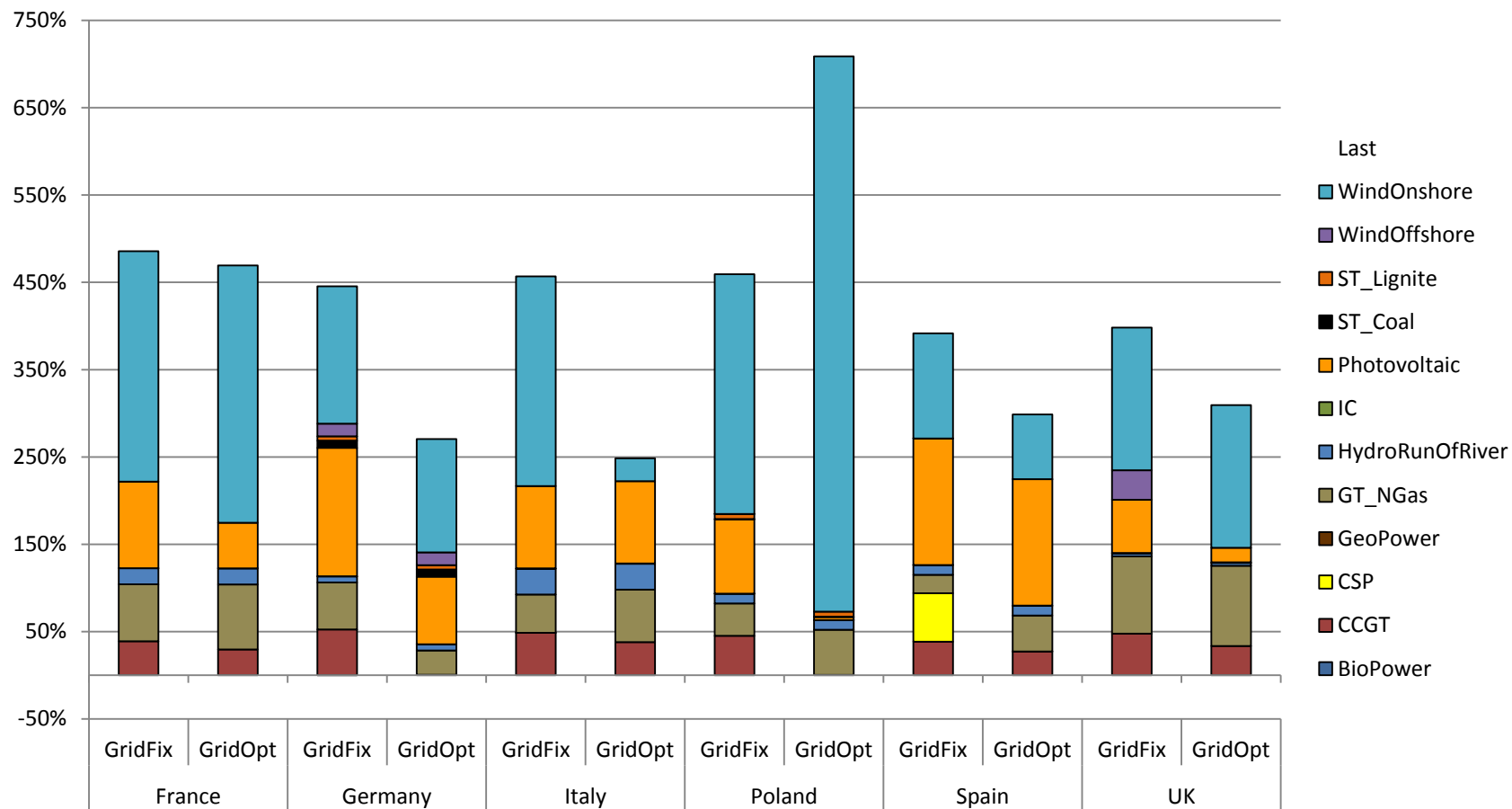


Spitzenlast

Spitzenlast [GW]



Erste Ergebnisse (II)



Ausblick

- Auswertung weiterer Szenarien
- + 6 Wetterjahre / 8 Lastjahre
- Bestimmung technologiespezifischer Verteilschlüssel

Technologie	Skalierungsfaktor (nutzbar)	Skalierungsfaktor (Wunsch)
Wind Onshore, Wind Offshore, CSP, PV	Potentialanalysen (EnDAT)	50% heutige regionale Verteilung, 50% Potentiale
Biomasse	Potentiale (DFD)	Heutige regionale Kap.-Verteilung
Laufwasserkraft, Pumpspeicher, Speicherwasser	Grobe heutige Verteilung (altes PLATTS)	Heutige regionale Kap.-Verteilung
Stromnachfrage	Einwohnerzahl	Sektorspezifisch

- Gegenüberstellung Kraftwerkspark mit e-Highway2050-Szenarien

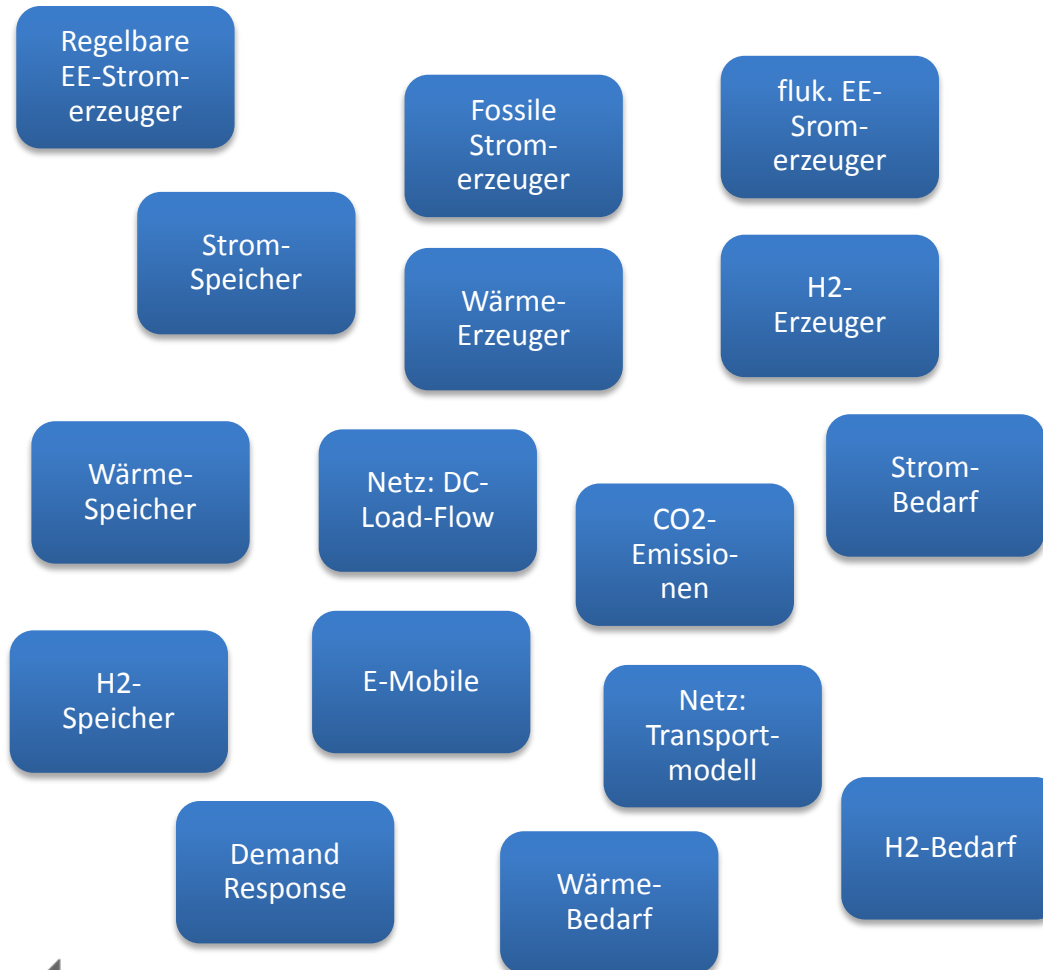


Zusammenfassung

- **Analyse von Netzausbauszenarien mit:**
 - Optimierungsmodell
 - Übertragungsnetzmodell (Lastflusssimulation)
- **Modellkopplung**
 - Netzmodell→Energiesystemgemmodell: „Leicht“
 - Energiesystemgemmodell→Netzmodell:
 - Mapping
 - Fallunterscheidung
 - Verteilschlüssel
- **Europäischer Kraftwerkspark**



Verteilschlüssel gesucht...



Vielen Dank!

Fragen?



Wissen für Morgen

